

**В.И.Панченко***(Украина, Днепродзержинск, Национальный горный университет)*

## О СНИЖЕНИИ РАСХОДА ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА В АСИНХРОННЫХ МАШИНАХ

В настоящее время асинхронные двигатели – наиболее распространенные электрические машины. Поэтому даже небольшое уменьшение расхода активных материалов, в частности обмоточного провода, обеспечит значительный экономический эффект. В работе [1] предложена конструкция асинхронного двигателя с когтеобразными зубцами на статоре и со сосредоточенной обмоткой. Поскольку на каждом полюсном делении машины размещаются 3 катушки обмотки статора (имеется в виду трехфазный двигатель), то обмоточный коэффициент для первой гармонической невелик ( $k_{o\sigma} = 0,5$ ). Однако индукция в горизонтальной части зубцов статора может быть максимально возможной по условиям насыщения (1,7-1,8Тл), что в 2-3 раза превышает плотность магнитного потока, пронизывающего витки распределенной обмотки двигателя обычной конструкции. Это приводит, несмотря на низкий обмоточный коэффициент, к существенному (примерно в 2 раза [1]) уменьшению расхода обмоточного провода.

Рассмотрим вопрос о расходе обмоточного провода более подробно. Сопоставим по этому показателю трехфазный двигатель обычной традиционной конструкции и двигатель, рассмотренный в работе [1].

Магнитный поток в горизонтальной части зубца двигателя

$$\Phi_3 = l_{\sigma} \int_{-\frac{b_k}{2}}^{+\frac{b_k}{2}} B_{1m} \cos \frac{\pi}{\tau} x dx = \frac{2}{\pi} B_{1m} \tau l_{\sigma} k_{y1} = \Phi_{\sigma} k_{y1}, \quad (1)$$

где  $B_{1m}$  - амплитуда основной гармоники магнитной индукции;  $\tau$  - полюсное деление;  $b_k$  - ширина катушки;  $l_{\sigma}$  - расчетная длина;  $k_{y1} = \sin \frac{\pi}{2} \frac{b_k}{\tau}$  - коэффициент укорочения для основной гармоники;  $\Phi_{\sigma} = \frac{2}{\pi} B_{1m} \tau l_{\sigma}$  - магнитный поток воздушного зазора на полюсном делении.

С другой стороны

$$\Phi_3 = B_3 S_3 = B_3 b h k_c, \quad (2)$$

где  $B_3$  - магнитная индукция в зубце;  $S_3 = bh$  - площадь поперечного сечения;  $b, h$  - ширина и высота зубца;  $k_c$  - коэффициент заполнения сечения сталью.

Ширина зубца

$$b = k_b t_z \quad (3)$$

где  $k_b$  - относительная ширина зубца (для двухполюсных машин  $k_b = 0,78$ , четырехполюсных  $k_b = 0,82$ );  $t_z = \frac{\pi D}{z} = \frac{2p\tau}{z}$  - зубцовое деление;  $D$  - диаметр расточки;  $z$  - число зубцов;  $p$  - число пар полюсов.

Приравняв (1) и (2), с учётом (3) получим

$$\frac{2}{\pi} B_{1m} \tau l_{\sigma} k_{y_1} = B_3 k_b \frac{2p\tau}{z} h k_c.$$

Из последнего соотношения следует, что

$$h = \frac{B_{1m} z k_{y_1}}{\pi k_b p B_3 k_c} l_{\sigma} = k_1 l_{\sigma}, \quad (4)$$

где  $k_1 = \frac{B_{1m} z k_{y_1}}{\pi k_b p B_3 k_c}.$

Запишем

$$n = \frac{h}{b} = \frac{k_1 l_{\sigma} z}{2p k_b \tau} = \frac{k_1 z}{2p k_b} \lambda, \quad (5)$$

где  $\lambda = \frac{l_{\sigma}}{\tau}$  - известное соотношение, которое для большинства асинхронных двигателей общего назначения изменяется в достаточно узких пределах [2].

Для уменьшения расхода обмоточного провода желательно иметь квадратное сечение зубцов ( $k_b = 1$ ). Однако в этом случае значение

$$\lambda = \frac{2p k_b}{k_1 z} n = \frac{k_b}{k_1 m q}$$

может заметно отличаться от общепринятых. Например, при  $k_b = 1$ ,  $m = 3$  (число фаз),  $q = 2$  (число зубцов на полюс и фазу),  $\lambda = 0,26$ , что слишком мало; при  $k_b = 2$  и неизменных других величинах  $\lambda = 0,52$ , что приемлемо [2].

В последующем величины, относящиеся к обычному двигателю, будем обозначать индексом "0" снизу, а относящиеся к рассматриваемому двигателю [1] индексами выделять не будем.

Примем плотность тока в обмотках обоих двигателей одинаковой. Поперечные сечения проводников обмоток (при равенстве токов) также будут

одинаковыми. Длина проводника одной фазы обмотки  $l = w l_{\epsilon}$  и  $l_0 = w_0 l_{\epsilon 0}$ , где  $l_{\epsilon}$ ,  $l_{\epsilon 0}$  - длины одного витка обмотки рассматриваемого и обычного двигателей;  $w$ ,  $w_0$  - число витков фазы.

Запишем соотношение  $\frac{l}{l_0} = \frac{w l_{\epsilon}}{w_0 l_{\epsilon 0}}$ , откуда:

$$l = \frac{w l_{\epsilon}}{w_0 l_{\epsilon 0}} l_0. \quad (6)$$

В обычном двигателе для выпной обмотки

$$l_{\epsilon 0} = 2(l_{\sigma_0} + l_{\lambda}) = 2[l_{\sigma_0} + (1,16 + 0,14p)(1 + \frac{h_0}{D_0})\tau_0\beta + A],$$

где  $l_{\lambda}$  - длина одной лобовой части;  $\beta$  - относительный шаг обмотки;

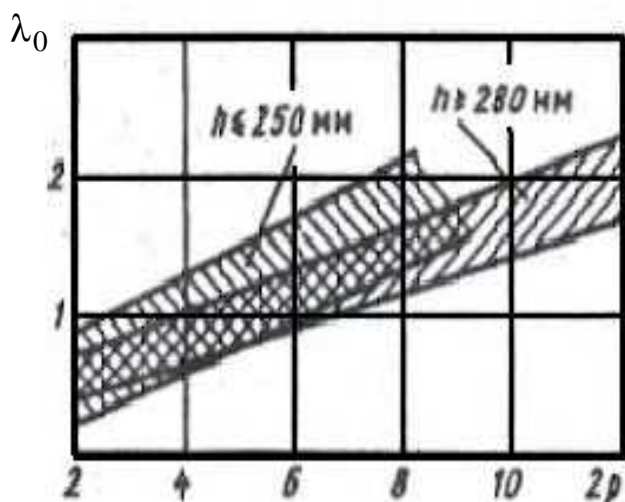
$A = 0,02 - 0,03$  м - коэффициент.

Преобразовав последнее выражение, получим

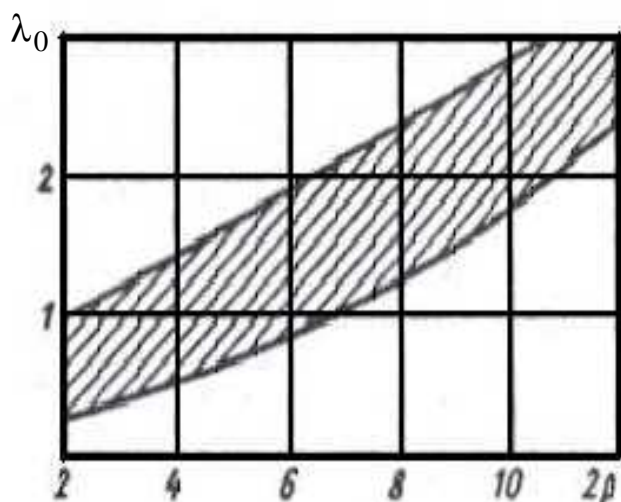
$$l_{\epsilon 0} = 2l_{\sigma_0} [1 + (1,16 + 0,14p)(1 + \frac{h_0}{D_0})\frac{\beta}{\lambda_0} + \frac{A}{l_{\sigma_0}}], \quad (7)$$

где  $\lambda_0$  - отношение  $\frac{l_{\sigma_0}}{\tau_0}$ , значение которого приведено на рисунке из [2] для

$$\frac{h_0}{D_0} = 0,1 - 0,3; \quad \frac{A}{l_{\sigma_0}} = 0,05 - 0,2.$$



а



б

Отношение  $\frac{l_{\sigma 0}}{\tau_0}$  для двигателей со степенями защиты IP44 (а) и IP23 (б)

Для рассматриваемого двигателя средняя ширина витка катушки

$$b' = b + 2b_k = k_b t_z + \frac{t_z}{2}(1 - k_b) = \frac{t_z}{2}(1 + k_b),$$

средняя высота

$$h' = h + 2b_k = h + \frac{t_z}{2}(1 - k_b),$$

средняя длина витка

$$l_{\sigma} = 2(b' + h') = 2(h + t_z),$$

где  $b_k$  - толщина катушки.

С учетом (4) запишем

$$l_b = 2l_{\sigma} \left( k_1 + \frac{2p}{z\lambda} \right). \quad (8)$$

Расчетные мощности  $(P' = \frac{k_E P_H}{\eta_H \cos \varphi_H})$  сравниваемых двигателей будут

близкими по величине, если исходить из примерно одинаковых энергетических показателей. Если обеспечить равенство магнитных потоков  $\Phi_m$ , то при выполнении соотношения

$$k_{\sigma\sigma} w = k_{\sigma\sigma_0} w_0, \quad (9)$$

как это следует из выражения

$$P' = mEI_H = m4,44 f k_{\sigma\sigma} w \Phi_m I_H,$$

должны быть равны и номинальные токи  $I_H$  сравниваемых двигателей ( $f$  - частота тока,  $E$  - ЭДС).

Из равенства магнитных потоков следует, что

$$B_{\sigma} l_{\sigma} \tau = B_{\sigma_0} l_{\sigma_0} \tau_0.$$

Магнитная индукция воздушного зазора  $B_{\delta}$  и  $B_{\delta_0}$  выбирается из условий насыщения зубцовых зон (в рассматриваемом двигателе – это зубцовая зона ротора) и поэтому можно принять  $B_{\delta} = B_{\delta_0}$ . Тогда

$$l_{\delta}\tau = l_{\delta_0}\tau_0, \quad (10)$$

и, преобразовав это выражение, запишем

$$\lambda = \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2 \lambda_0. \quad (11)$$

Из уравнения (6) с учетом выражений (7) – (11) окончательно получим

$$l = \frac{k_{o\delta_0} \sqrt{\lambda} \left(k_1 + \frac{2p}{z\lambda}\right) l_0}{k_{o\delta} \sqrt{\lambda_0} \left[1 + (1,16 + 0,14p) \left(1 + \frac{h_0}{D_0}\right) \frac{\beta}{\lambda_0} + \frac{A}{l_{\delta_0}}\right]}. \quad (12)$$

Выполним расчеты с использованием формулы (12). Примем  $p=1$ ;  $B_{1m}=0,75Тл$ ;  $B_z=1,8Тл$ ;  $k_c=0,9$ ;  $z=6$ ;  $k_{y_1}=0,5$ . Получим  $k_1$

$$k_1 = \frac{0,75 \cdot 6 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 0,78 \cdot 1,8 \cdot 0,96} = 0,53.$$

Далее, примем  $k_{o\delta_0}=0,92$ ;  $k_{o\delta}=0,5$ ;  $\beta=0,8$ ;  $\lambda_0=\lambda=0,9$ ;  $\frac{h_0}{D_0}=0,2$ ;

$\frac{A}{l_{\delta_0}}=0,1$ . При таких значениях имеем  $l=0,63l_0$ . Следовательно, асинхронные

двигатели с когтеобразными зубцами на статоре и со сосредоточенной обмоткой могут обеспечить заметную экономию обмоточного провода. В приведенном примере экономия составит 37%.

#### Список литературы.

1. Лущик В.Д. Современные электрические машины и аппараты. – К.: Техника, 1993. – 203с.
2. Проектирование электрических машин/ И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – М.: Высш. шк., 2002. – 757с.